

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO  
TECNOLOGIA EM MATERIAIS

KAIQUE BRUNO BOGA

**ANÁLISE DA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA POR FLUÊNCIA  
DO AÇO SAE 1040**

SÃO PAULO

2021

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

KAIQUE BRUNO BOGA

ANÁLISE DA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA POR FLUÊNCIA DO AÇO  
SAE 1040

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Tecnologia em Materiais com ênfase em  
Metais da Faculdade de Tecnologia de São  
Paulo

Orientador: Prof. Dr. Marcos Domingos Xavier

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Augusto Couto  
(Mackenzie)

SÃO PAULO

2021

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

KAIQUE BRUNO BOGA

**ANÁLISE DA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA POR FLUÊNCIA DO AÇO SAE 1040**

Trabalho submetido como exigência parcial para a obtenção do Grau de Tecnólogo em Materiais.

Parecer do Professor Orientador

---

---

---

Conceito/Nota Final: \_\_\_\_\_

**Atesto o conteúdo contido na postagem do ambiente TEAMS pelo aluno e assinada por mim para avaliação do TCC.**

Orientador: Prof. Dr. Marcos Domingos Xavier

SÃO PAULO, 10 de Agosto de 2021.

Assinatura do Orientador

Assinatura do aluno



*“Pedras no caminho? Eu guardo todas. Um dia vou  
construir um castelo.”*

(Nemo Nox)

## **AGRADECIMENTOS**

Em toda a minha vida eu ouço que o mais difícil de fazer algo é começar a fazer. O ser humano posterga as suas atividades, os seus objetivos, até mesmo os seus estudos e que a principal parte é: se deseja algo... Faça! Comece de algum lugar; depois que iniciado, a atividade/objetivo flui.

Pensando dessa forma eu gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais (Fabiana Fabiani e Alfredo Torrecillas Ramos) que sempre estiveram ao meu lado incentivando os estudos, e a minha querida amiga Silvana Delcorso Lopes Mouzinho, que passou horas conversando sobre cutelaria artesanal. Trabalho que me inspirou a procurar o curso de tecnologia em materiais da Fatec.

É com grande carinho que sou grato a todos os professores que estiveram presentes nessa jornada (Lilian Hanamoto, Norberto Nery, Vanessa Duarte, Silvia Graf, Luis Fernando Mafféis, Katsuyoshi Kurata, Davinson, Marcos D. Xavier, Cleber Vieira etc.) inclusive os de outros cursos nos quais tive o prazer de cursar as matérias na flexibilização (Daisy Gomes, Ayrton Barboni, Salvador Sampaio e Marco Crivelaro). Agradeço, também, aos parceiros do Mackenzie, professor Antônio Couto e a pós doutoranda Gisele Almeida, que se dispuseram a fazer com que essa parceria ocorresse.

Nossa memória funciona através de grandes momentos, momentos esses que foram marcantes. Cada uma dessas pessoas tem seu espaço reservado, cada uma, com suas histórias. Histórias que nunca serão esquecidas.

## RESUMO

A Fluência dos materiais tornou-se um dos principais testes quando se trata de ensaios destrutivos. Possibilita determinar o alongamento do material em elevadas temperaturas junto a um esforço físico constante objetivando o período máximo suportado dentro desta condição. O aço carbono SAE1040 é um dos materiais mais utilizados por sua fácil usinabilidade e considerável dureza. Neste sentido, este trabalho visa observar e entender as características que influenciam na taxa de fluência e seus principais mecanismos de funcionamento analisando o alongamento dos corpos de prova em três situações conforme os parâmetros de uma das referências encontradas para o presente estudo, que considera o mesmo teor de carbono. Estipulou-se, então, a temperatura de seiscentos graus Celsius e duzentos megapascais variando a tensão e a temperatura. Os gráficos com a curva de fluência obtidos mostraram que o aço SAE1040 possui uma alta taxa de fluência e maior alongamento total até a fratura, influenciados pela ausência de elementos ligantes (precipitados cerâmicos duros).

**Palavras-chave:** Fluência, SAE1040, alongamento.

## ABSTRACT

The Creep of materials has become one of the main tests when it comes to destructive testing. It makes it possible to determine the elongation of the material at high temperatures together with a constant physical effort aiming at the maximum period supported under this conditions. SAE1040 carbon steel is one of the most used materials due to its easy machinability and considerable hardness. In this sense, this work aims to observe and understand the characteristics that influence the creep rate and its main working mechanisms by analyzing the lengthening of the specimens in three situations according to the parameters of one of the references found for this study, witch considers the same carbon content. It was stipulated, then, a temperature of six hundred degrees Celsius and two hundred mega pascals of tension, varying tension and temperature. The obtained creep curve graphs showed that SAE1040 steel has a high creep rate and greater total elongation until fracture, influenced by the absence of binding elements (hard ceramic precipitates).

**Keywords:** Creep, SAE1040, elongation.

# Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
5. CONCLUSÕES.....	25
6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	26
7. REFERÊNCIAS .....	27



## 1. INTRODUÇÃO

Com a evolução humana, historiadores conseguiram datar a forma que o homem usou os materiais para a sua sobrevivência. Desde então tem-se que há 2,5 milhões de anos no período Paleolítico, chamado de idade da pedra lascada, os primeiros homens utilizavam como utensílios pedras pontiagudas para a caça, a principal atividade da época. No período Neolítico, tem-se então, a idade da pedra polida, onde, como o próprio nome nos diz, as formas das pedras já eram mais regulares, “lisas”. Em 3000 a.C. surge a idade do bronze e com ela os primeiros processos de conformação plástica conhecidos, ou seja, as primeiras forjarias. Só a partir de 1200 a.C. o ferro começou a ser utilizado e desde então tornou-se material primordial para a existência humana.

No final das inquisições católicas, meados do século XVIII, houve a intensificação do estudo de novos materiais, retomando o que os alquimistas realizavam, e a partir desse período surgiram métodos para classificar os materiais. Dentre esses métodos destacam-se os ensaios de tração, de impacto, embutimento, de fluência e impacto.

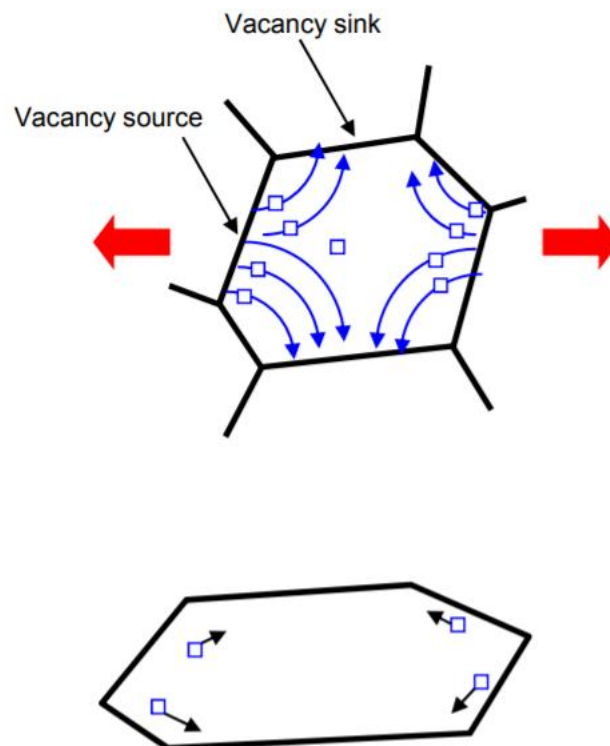
Ainda hoje, o aço é o material mais utilizado pela indústria e novas ligas são criadas a todo momento para tentar substituir outros materiais, já que o aço ainda é o material mais barato. Estas novas ligas associadas a diferentes processos de produção tais como tratamentos térmicos, auxiliam na obtenção de microestruturas que geram propriedades adequadas ao uso do material.

Objetiva-se observar o alongamento total do corpo de prova do aço SAE1040 comparando aos resultados obtidos por ABDALLA (2010) para o aço SAE4340 normalizado.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O ensaio de fluência, pode-se dizer, que é um dos métodos mais próximos da realidade que um material é submetido. Resume-se o ensaio à fluência como a “aplicação de carga constante em determinada atmosfera”. Mas o que isso significa? Nesse ensaio é aplicada uma determinada tensão, mas dentro de um forno em que a temperatura da atmosfera é controlada (BRATHE 1979). Através dele podemos observar o quanto o material resiste à deformação plástica sob uma determinada tensão e temperatura de trabalho, por exemplo, cabos de aço das pontes rolantes que transportam painéis de metal líquido. Em outras palavras, o ensaio de fluência mede a quantidade de tempo que um material suporta nas condições de trabalho (tensão e temperatura), podendo então, dar um prazo de “validade”, ou seja, de vida útil ao material.

Há vários mecanismos de fluência. O mecanismo proposto por Nabarro-Herring (1948, 1950) é descrito por elevadas temperaturas ( $>0,7$  da temperatura de fusão do material) e baixas tensões, visando o alongamento em dois lados do grão e a compressão dos outros dois lados.



**Figura 1** - Mecanismo de Nabarro-Herring

As fontes e os sorvedouros de lacunas são contornos de grãos, superfície (interface) e deslocamento das discordâncias compostas por três mecanismos diferentes, o de difusão das lacunas ao longo do material, troca de lacunas entre a fonte e o sorvedouro e geração/aniquiação das lacunas dentro da rede cristalina (ROVITTO, 2016).

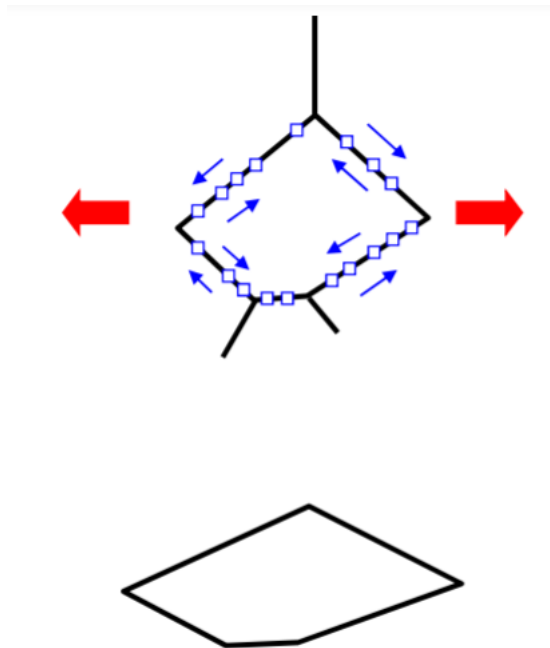
A taxa de fluência é expressa por  $\dot{\epsilon}_{NH}$ , podendo ser derivada considerando um grão retangular individual em um mono ou policristal (WEAVER, 2012). A energia de ativação, sob essa mudança, para formar uma vacância/vazio é alterada por  $\pm \sigma\Omega$ , onde  $\sigma$  é a tensão e  $\Omega$  o volume da vacância. A indicação de mais e menos é o aumento ou a diminuição da energia de ativação devido à tração e à compressão, respectivamente. Para saber a concentração dessas vacâncias é necessário medir as taxas de compressão  $N_v^C \approx e^{\left(\frac{Q_f}{kT}\right)} \times e^{\left(\frac{\sigma\Omega}{kT}\right)}$  e tração  $N_v^T \approx e^{\left(\frac{Q_f}{kT}\right)} \times e^{\left(\frac{-\sigma\Omega}{kT}\right)}$ , onde  $Q_f$  é a energia de formação de vacância,  $k$  é a constante de Boltzmann e  $T$  é a temperatura absoluta expressa em Kelvin. Essas concentrações são mantidas nas superfícies verticais e horizontais do grão. Essa é a deformação por fluência causada por um fluxo de movimento de vazios.

Chega-se então à taxa de fluência total  $NH$  expressa por:

$$\dot{\epsilon} = A_{NH} \times \frac{D_L \Omega \sigma}{d^2 k T}$$

As particularidades dessa equação não serão utilizadas nesse trabalho, mas para fim de conhecimento, a taxa de fluência  $NH$  depende da taxa de autodifusão das vacâncias  $D_L$ , sua tensão de trabalho, temperatura absoluta, volume da vacância, tamanho do grão  $d$ , e  $A_{NH}$  é a constante que absorve as aproximações na derivação (realizadas para chegar na expressão final). (USP, 2011)

Existe o mecanismo de Coble (EVANS, 1993), que se assemelha ao de Nabarro-Herring, a principal diferença é que para se visualizar esse mecanismo o ensaio é submetido à baixas temperaturas ( $0,4T_f < T_c < 0,7T_f$ ). Dessa forma, os vazios ocorrem nos contornos de grão do material e a taxa de fluência varia inversamente proporcional com o cubo do tamanho do grão. (LANGDON, 2002)



**Figura 2 - Mecanismo de Coble**

Por fim, o terceiro mecanismo difusional é o de Harper-Dorn, analisando a movimentação das vacâncias através dos núcleos das discordâncias em cunha. (HARPER-DORN, 1957). Segundo NABARRO (1948) e HERRING (1950), essa migração ocorre paralela ao vetor de Burgers e com tensões axiais perpendiculares com a taxa de deformação proporcional à densidade de discordância e à tensão não ocorrendo acúmulo de matéria no contorno de grão.

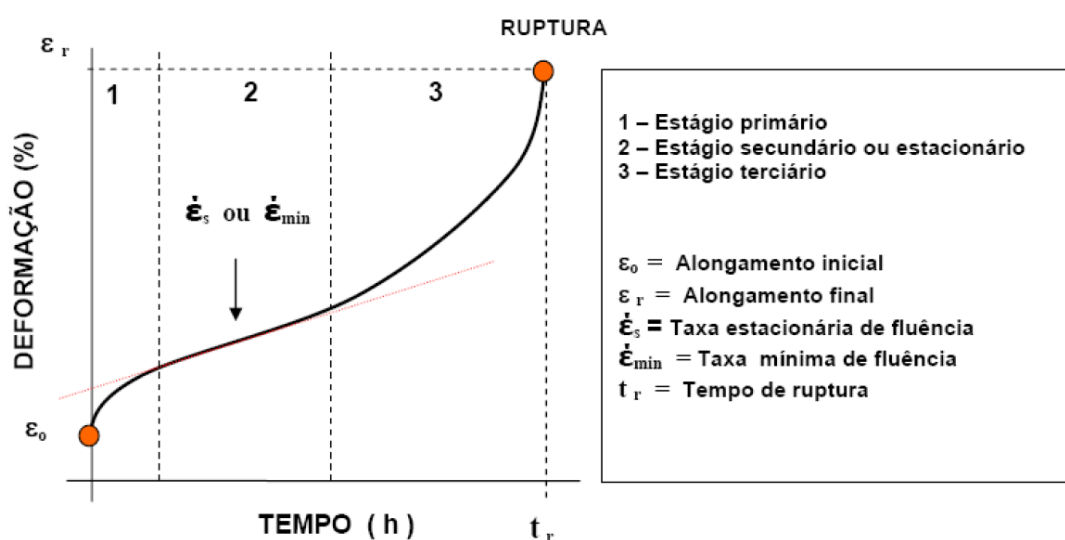
Esse modelo gera discussões até os dias atuais já que a proposta ocorre em ensaios de longa duração com elevadas temperaturas.

Segundo BLUM (2002), os longos segmentos situados no plano de deslizamento pode ser que a movimentação das discordâncias não aconteça já que ocorre a rápida multiplicação delas restringindo seu deslocamento, podendo ser observado com a aplicação de altas tensões no plano de deslizamento.

Outro mecanismo de fluência é o de deslizamento do contorno de grão (processo não difusional), neste caso a superplasticidade é um clássico exemplo de ocorrência do deslizamento do contorno, importante característica de retenção da essência original do grão mesmo com altas deformações ao longo da tensão axial. (WEAVER, 2012)

NABARRO (2002) demonstra que as taxas de deslizamento são controladas ao longo do contorno de grão e que as discordâncias são capazes de se mover entre grãos adjacentes, só ocorrendo por causa da acomodação adicional dos grãos do material policristalino, não sendo observada em grãos refinados.

A curva característica de fluência é caracterizada por três regiões: primária, secundária e terciária. A região primária apresenta taxas de deformação decrescentes ao longo de tempo até atingir um valor constante. A região secundária apresenta taxa de deformação constante devido ao equilíbrio existente entre os processos de endurecimento por deformação e recuperação do grão, sendo denominada então como a velocidade mínima de fluência. A região terciária mostra o crescimento da taxa de deformação, conforme figura 3. A inclinação da curva em qualquer ponto é a taxa de fluência ( $d\varepsilon/dt$ ).



**Figura 3 – Curva característica de Fluência**

A Fluência em projetos para trabalho em temperatura ambiente é irrelevante e caro, sendo facilmente substituído pelo ensaio à tração, já fornecendo dados suficientes. Mas quando se trata de materiais como a carcaça de motores a jato, turbinas a vapor e até mesmo em reatores nucleares, em que atuam em elevadas temperaturas, a fluência é extremamente importante pois observa-se o comportamento desses materiais em suas zonas de trabalho.

Tendo em vista o que é a fluência e sua importância, necessita-se entender qual o material a ser analisado.

O aço SAE1040 é considerado um material de médio teor de carbono e suas principais aplicações estão na indústria agrícola, máquinas e equipamentos, e construção estrutural. Sua composição química segundo NBR – NM87 (2000) encontra-se na tabela 1.

**Tabela 1 – Composição química do aço SAE1040.**

Elemento	Concentração (%)
Manganês, Mn	0,60 a 0,90
Carbono, C	0,37 a 0,44
Enxofre, S	0,05 (max)
Fósforo, P	0,04 (max)
Ferro, Fe	O que sobra

Fonte: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1040-propriedades-mecanicas.html>

ABDALLA (2010) estipulou a tensão de trabalho de 200MPa e temperatura de 600°C utilizando o aço SAE4340, muito utilizado pela indústria aeronáutica e aeroespacial pelo seu alto valor de resistência a tração, tenacidade e a fácil usinabilidade, com composição química segundo NBR – NM87 (2000) observada tabela 2.

**Tabela 2 - Composição química do aço SAE4340.**

Elemento	Concentração (%)
Cromo, Cr	0,70 a 0,90
Níquel, Ni	1,65 a 2,00
Molibdênio, Mo	0,20 a 0,30
Manganês, Mn	0,60 a 0,80
Carbono, C	0,37 a 0,43
Silício	0,15 a 0,30
Enxofre, S	0,04 (max)
Fósforo, P	0,035 (max)
Ferro, Fe	O que sobra

Fonte: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-4340-propriedades-mecanicas.html>

CARVALHO (2015) explica que para os aços carbono, a temperatura ideal de trabalho é até de 370°C e aço micro ligados com cromo, molibdênio e manganês são adotadas temperaturas de até 650°C.

Há desta forma a possibilidade de analisar e notar os diferentes alongamentos do SAE1040 conforme a sua curva de fluência característica. É possível verificar se os diferentes parâmetros de ensaio influenciam na porcentagem total de alongamento e qual o efeito sobre os elementos de liga do aço SAE4340.

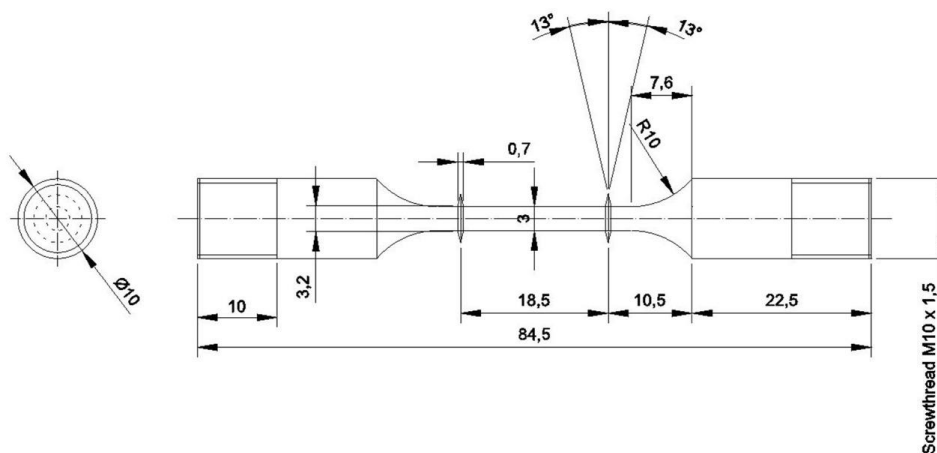
### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este ensaio foram usinados cinco corpos de prova de aço SAE1040 em barra com diâmetro de 2,25 milímetros, conforme figura 4, sendo dois deles de reserva para possíveis reensaio.



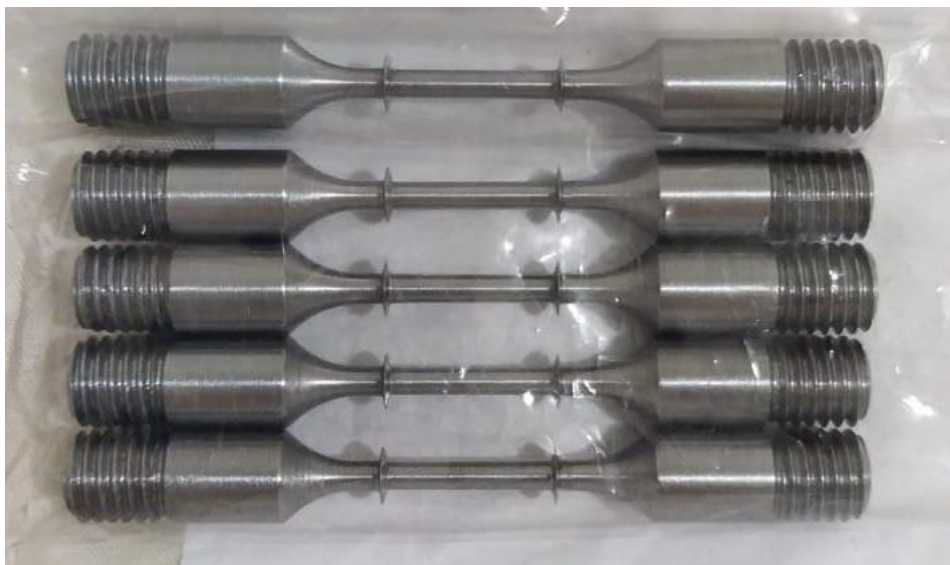
**Figura 4 – Barra de Aço SAE1040**

O equipamento de ensaio de fluência utilizado da marca Zwick Roell (figura 8) é semelhante a uma de tração, só que com um forno acoplado para aquecer os corpos de prova de dimensões conforme norma regulamentadora ASTM E139-11(2018) (figuras 5 e 6).



**Figura 5 - Dimensões do corpo de prova (ASTM E139-11)**





**Figura 6** - Corpos de prova de aço SAE1040 já usinados conforme ASTM E139-11

Todas as barras de aço SAE1040 foram devidamente recozidos à 900°C com permanência de uma hora para uniformização da temperatura por toda sua extensão antes da usinagem.

Após a usinagem, realiza-se a metalografia pré-ensaio com as lixas d'água 200, 320, 400, 600 e 1000 mesh; polimento a base de alumina e ataque químico com nital 2% por 10 segundos.

A etapa seguinte consiste no acoplamento dos corpos de prova à máquina com a utilização dos extensômetros e a fixação dos termopares conforme figura 7.



**Figura 7** – Corpo de prova acoplado à máquina com o extensômetro, e os termopares devidamente fixados

Inicia-se o aquecimento do forno após o fechamento como observado na figura 8.



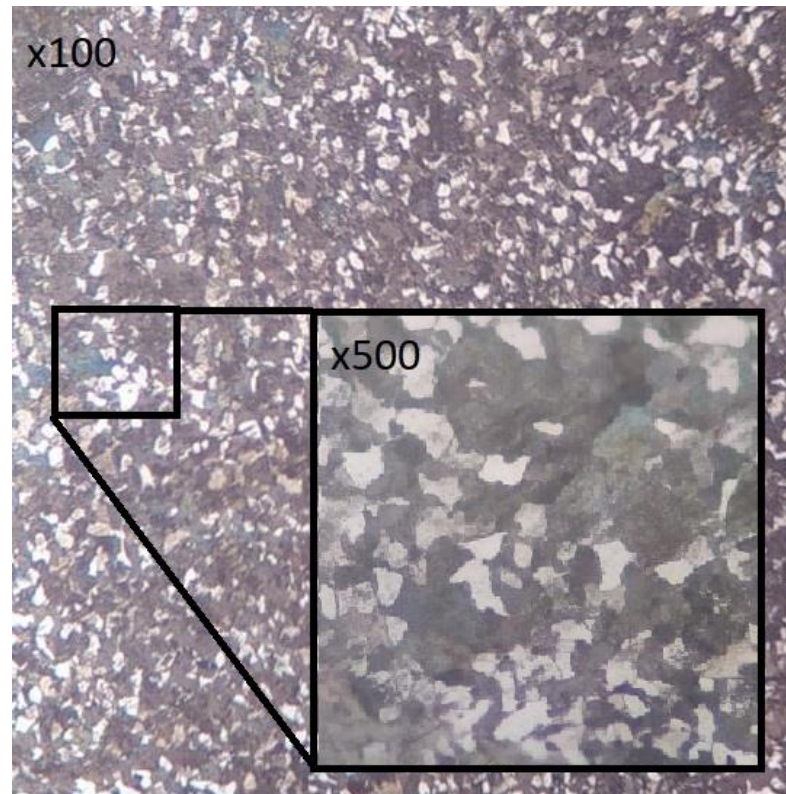
**Figura 8** – Equipamento de realização dos ensaios – Laboratório da Universidade Mackenzie

Após alcançar a temperatura será aplicada uma pré-carga de 10% da tensão de trabalho durante 1h para garantir a uniformidade da temperatura em toda a extensão do corpo de prova.

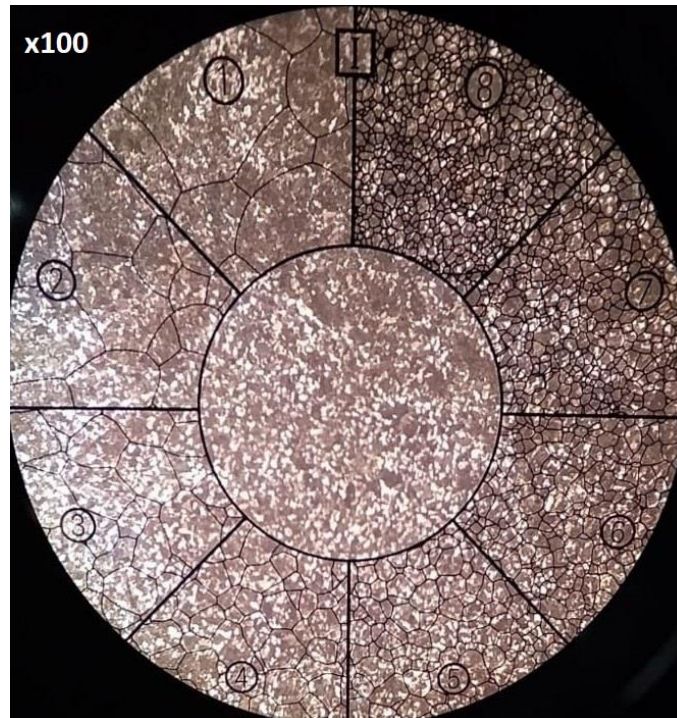
Estima-se que o tempo de ensaio, pelo fator de porcentagem de carbono, seja próximo ou equivalente ao ensaio normalizado de ABDALLA (2010) de duração 2,5h.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o recozimento da barra e a confecção dos corpos de prova é notado o não coalescimento dos grãos, mas sim, um refinamento, característica típica de um material normalizado, acredita-se que as barras foram removidas antecipadamente do forno, ainda com material austenítico. Podendo ser observado uma alta concentração de perlita grosseira (excesso de cementita) e granulatura 8, conforme figuras 9 e 10.

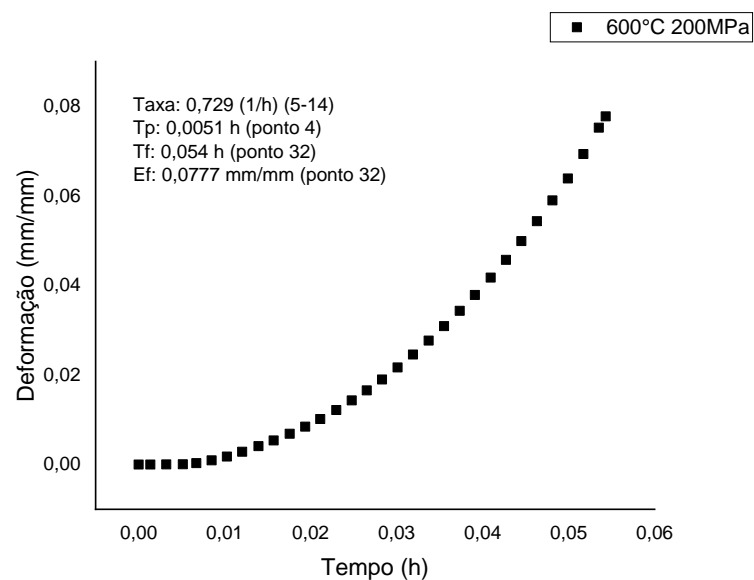


**Figura 9** – Análise metalográfica visualizada através do microscópio óptico



**Figura 10** – Análise metalográfica visualizada através do microscópio óptico

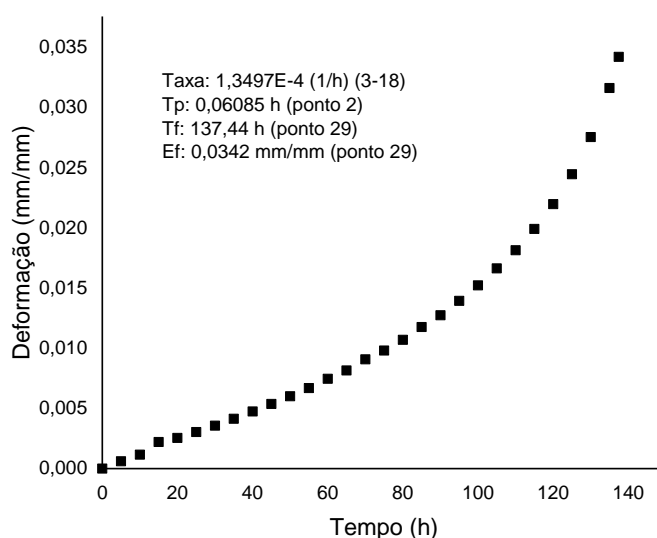
Após o primeiro ensaio, podemos observar que os parâmetros adotados por ABDALLA (2010) não são cabíveis para o aço SAE1040 comparado com o SAE4340 normalizado.



**Figura 11** – Curva de Fluência a 600°C e 200MPa do aço SAE 1040

A figura 11 demonstra claramente que a taxa de fluência para o aço SAE1040 é de 0,729/h, o alongamento total de 0,0777mm/mm e tempo até a fratura de 194,4s, predominando o estágio 3 de fluência. Alta velocidade e exponencial até a ruptura do material.

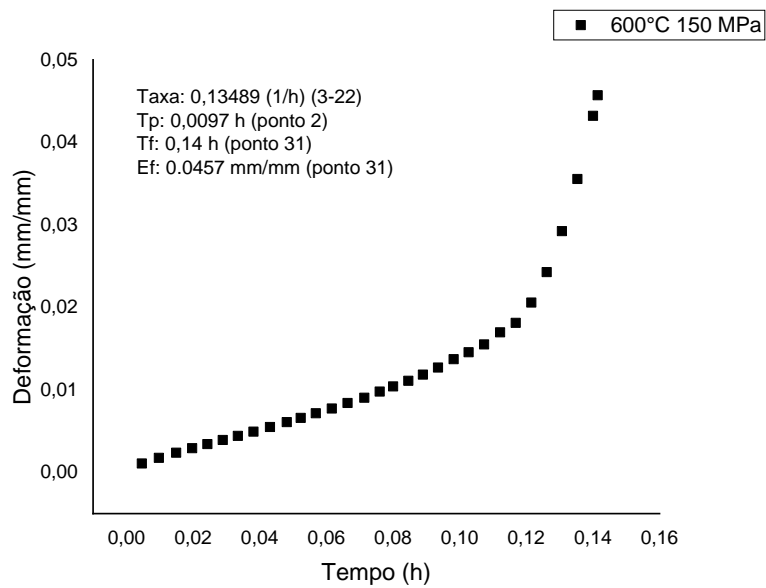
Devido à alta velocidade de fluência, os parâmetros de trabalho foram ajustados para 150MPa e 500°C com a finalidade de visualizar o segundo estágio.



**Figura 12 – Curva de Fluência a 500°C e 150MPa do aço SAE 1040**

Observa-se, através da figura 12, que os estágios de fluência estão melhores demarcados e, tanto a temperatura, quanto a tensão, inferiores ao setup de ABDALLA (2010) contribuíram para que o tempo até a ruptura se elevasse para 494.784,00s, a taxa de fluência caísse para 0,0001349/h e, o curioso, um menor alongamento total de 0,0342mm/mm. A lógica diz que, se o tempo de ensaio é maior, obtém-se um maior alongamento do material. Na prática, a tensão aplicada não foi suficiente para produzir esse alongamento, acredita-se que para as duas temperaturas de trabalho, 600°C demonstrou-se com maior efetividade da difusão atômica em relação à 500°C.

À fim de alcançar o mesmo período até a fratura obtida por ABDALLA (2010) e observado que a 500°C o aço SAE1040 comporta-se muito bem a um longo período, elevou-se a temperatura de ensaio a 600°C novamente mantendo-se a tensão de 150MPa.



**Figura 13 – Curva de Fluência a 600°C e 150MPa**

Nota-se, através da figura 13, que a temperatura interfere muito mais no tempo até a fratura do que a tensão. Através dos parâmetros à 600°C e 150MPa o corpo de prova ficou submetido a uma taxa de fluência de 0,13489/h, alongamento máximo de 0.0457mm/mm por 504s totais.

Ao término dos ensaios a proporção de grãos e fração volumétrica dos corpos de prova se mantiveram com granulação fina de material normalizado, analisando transversalmente conforme figura 14.



**Figura 14** – Análise metalográfica da secção transversal do corpo de prova após o ensaio de fluência

Como foi obtido a mesma estrutura. Realizou-se, então, a análise metalográfica de forma longitudinal conforme figura 15.



**Figura 15** – Análise metalográfica da secção longitudinal do corpo de prova após o ensaio de fluência



Através da seção longitudinal dos corpos de prova observa-se um alongamento dos grãos até a zona de fratura com característica de normalização. Possivelmente pela abertura do forno após a fratura do corpo de prova.

Observa-se, com a afirmação de CARVALHO (2015), que os elementos de liga no aço SAE4340 de ABDALLA (2010) são os responsáveis pela taxa de fluência e tempo de fratura para os parâmetros utilizados, comprovando que o teor de carbono não é suficiente para os mesmos parâmetros.

## 5. CONCLUSÕES

Conclui-se, através desses ensaios, que os elementos de liga do aço SAE4340, no trabalho de ABDALLA (2010) são fundamentais para suportar temperaturas mais altas comparadas ao SAE1040. Deve-se considerar, também, que o aço SAE1040 obteve o maior alongamento por fluência com os parâmetros de 600°C e 200MPa, provavelmente advinda da difusão atômica mais presente do que a movimentação de discordâncias realizado pelas tensões trativas, enquanto no segundo teste a 500°C e 150MPa a temperatura não teve o mesmo efeito de difusão atômica como no ensaio à 600°C. Por fim, com o terceiro e último ensaio vê-se que a temperatura é o principal contribuinte para a fratura do corpo de prova, aumentando a plasticidade do aço, acredita-se que a taxa de difusão seja maior e há um aumento da resistência à fluência ocasionando a diminuição do tempo até a fratura.

## **6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

- Realizar o ensaio de fluência com o aço SAE4340 para melhores visualizações do trabalho de ABDALLA (2010);
- Realizar tratamento térmico de carbonitreção nos aços SAE1040 e SAE4340;
- Aprofundar os estudos nos mecanismos de fluência e calcular o alongamento total do grão;
- Visualizar a fratura no MEV e se possível, realizar os ensaios em atmosfera controlada para evitar a oxidação do corpo de prova e só remover do forno após estabilizar a temperatura.

## 7. REFERÊNCIAS

CARVALHO, Sofia Vanessa S. **Fluência dos Materiais**, Porto, Portugal. 2015.

ABDALLA, Antonio Jorge. **Estudo de Fluência em Aços 4340 com Diferentes Microestruturas e Tratamento de Carbonitreção a Plasma**, CBECiMat, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. 2010.

WEAVER, M.L. **Excerpt from Deformation and Fracture of Crystalline and Non crystalline Solids Course Notes. Part II: Creep and Superplasticity**, 2012.

H.J. Frost and M.F. Ashby. **Deformation-mechanism Maps: The Plasticity and Creep of Metals and Ceramics**, Pergamon Press, New York. US. 1982.

NABARRO, F.R.N, **Report on Conference of Strength of Solids**, Physical Society, London. UK 1948.

HERRING, C. **Journal of Applied Physics**, v. 21, p. 437. 1950.

COBLE, R.L. **Journal of Applied Physics**, v. 34, p. 1679. 1963.

HARPER, J.G. DORN, J.E. **Acta Metallurgica**, v. 5, p. 654. 1957.

EVANS R.W. WILSHIRE, B. **Creep of Metals and Alloys**, The Institute of Metals. 1985.

EVANS R.W. WILSHIRE, B. **Introduction to Creep**, The Institute of Metals, Swansea, UK, p. 32-35. 1993.

NORTON, F.H. **The Creep of Steel at Hight Temperature**, McGraw Hill, New York. US. 1929.

BRATHE, L., JOSSEFSON, L. **Estimation of norton baileys parameters from creep rupture data**, Metals Science, v. 13, p. 660-664. 1979.

LANGDON, T.G. **Creep at low Stress: An Evolution of Diffusion Creep and Harper-Dorn Creep as Viable Creep Mechanism**, Metallurgical and Materials Transactions A, v. 33, p. 249 – 259. 2002.

NABARRO, F.R.N., **Creep at very low rates**, Metallurgical and Materials Transactions A, v. 33, p. 213 – 218. 2002.

ROVITTO, Marco., **Electromigration Reliability Issue in Interconnects for Three-Dimensional Integration Technologies**, Technischen Universität Wien, Wein. Österreich. 2016.

**Fluência**, slide 18. USP. 2011. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5401136/mod\\_resource/content/1/SMM%200156-%20FADIGA%20E%20FRATURA-%20Aula%2011%20%E2%80%93%20FLU%C3%80NCIA.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5401136/mod_resource/content/1/SMM%200156-%20FADIGA%20E%20FRATURA-%20Aula%2011%20%E2%80%93%20FLU%C3%80NCIA.pdf), acesso: julho, 2021.